

Potencial eólico en la generación de energía eléctrica en la meseta andina distrito de Frías, Ayabaca, Piura

Wind potential in the generation of electrical energy in the andean plateau district of Frías, Ayabaca, Piura

Neril Moreto^{1,a}, José L. Sosa^{1,b,*}

¹ Universidad Católica Sedes Sapientiae, Facultad de Ciencias Agrarias y Ambientales, Programa de Ingeniería Ambiental, Chulucanas, Piura, Perú.

^a M.Sc., ✉ nmoreto@ucss.edu.pe  <https://orcid.org/0009-0009-8371-3535>

^b M.Sc., ✉ jsosa@ucss.edu.pe  <https://orcid.org/0000-0001-8149-8063>

* Autor de Correspondencia: Tel. +51 975048801

<http://doi.org/10.25127/riagrop.20252.1056>

<http://revistas.untrm.edu.pe/index.php/RIAGROP>

revista.riagrop@untrm.edu.pe

Recepción: 15 de enero 2025

Aprobación: 07 de marzo 2025

Este trabajo tiene licencia de Creative Commons.
Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0
International Public License – CC-BY-NC-SA 4.0



Resumen

El propósito del estudio fue evaluar el recurso eólico para su posible utilización en la generación de energía eléctrica en la meseta andina distrito de Frías – Ayabaca, realizándose mediciones de viento en el caserío de Arenales, a 3093 m s.n.m., los registros fueron tomados cada hora, a 10 m de altura, utilizando un anemómetro durante los meses de abril, mayo y junio del año 2018. La velocidad promedio del viento fue 8.703 m/s, los datos fueron registrados a una altura de 10 m, se extrapoló a 40 m y 60 m para encontrar la velocidad del viento y el potencial eólico. Finalmente se calculó teóricamente la producción de energía eléctrica considerándose para la investigación el aerogenerador de eje horizontal marca Bornay 6000, donde a 60 m de altura, la producción de energía eléctrica fue 22 667.75 kW-h/año. Adicionalmente, se recopiló los datos históricos del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI), de la estación convencional meteorológica del caserío de Arenales meseta andina, correspondientes a los años de 1986 a 1991 en los que estuvo en funcionamiento, obteniéndose la

velocidad promedio del viento durante los 6 años fue de 8.05 m/s, con la dirección predominante de este a oeste.

Palabras claves: Energía eólica; energía eléctrica; velocidad del viento.

Abstract

The purpose of the study was to assess the wind resource for its potential use in electricity generation in the andean plateau district of Frías – Ayabaca. Wind measurements were taken at the village of Arenales, located at 3093 m a.s.l. The records were collected hourly at a height of 10 meters using an anemometer, during the months of April, May, and June of 2018. The average wind speed was 8.703 m/s. The data, recorded at a height of 10 meters, were extrapolated to 40 meters and 60 meters to determine the wind speed and wind potential. Theoretical calculations of electricity production were carried out, considering the horizontal axis wind turbine model Bornay 6000. At a height of 60 meters, the electricity production was 22 667.75 kWh/year. Additionally, historical data from the National Service of Meteorology and Hydrology (SENAMHI) were compiled from the conventional meteorological station at the village of Arenales in the Andean Plateau. Data from the years 1986 to 1991, when the station was operational, showed an average wind speed of 8.05 m/s, with the predominant wind direction from east to west.

Keywords: Wind energy; electrical energy; wind speed.

1. INTRODUCCIÓN

El uso de la energía eólica para la producción de electricidad no cambia las características físicas y químicas del suelo, asimismo, no produce contaminantes que afecten a este medio, tampoco vertidos o movimientos de tierras en gran magnitud, caso que es notorio en las energías convencionales. La producción de electricidad utilizando el potencial eólico no produce alteración sobre los acuíferos, no emite gases contaminantes de efecto invernadero, o productos secundarios peligrosos al ambiente (Moreno, 2013).

La Política energética del Perú para el periodo 2010 - 2040 aprobado por el D.S. N° 064-2010-EM tiene como primer objetivo contar con una matriz energética diversificada con énfasis en las fuentes renovables y la eficiencia energética, mientras que en el sexto objetivo se plantea desarrollar un sector energético con mínimo

impacto ambiental y bajas emisiones de carbono en un marco de desarrollo sostenible (Decreto Supremo N° 064-2010-EM, 2010).

En el Perú, dos instituciones han tenido experiencia con aerogeneradores, ITINTEC desarrolló a nivel experimental un prototipo de aerogenerador de 500 W de potencia con dos álabes, fue instalado en una vivienda en el distrito de Villa el Salvador, sin embargo, el sistema no funcionó satisfactoriamente por falta de viento y un falló en los controles del generador. La otra institución, es Electroperú, dentro de su programa de estudios y trabajos de investigación en el campo de la energía eólica, continuó con los trabajos iniciados por el convenio Ítalo-Peruano en la caleta de Yacila en 1983 – 1985 (Bahía de Paita) e inició trabajos en la localidad de Torán en el valle de Majes (distrito de Uraca, provincia de Castilla en el Departamento de Arequipa), en el año 1988, la

ex-oficina de energías no convencionales instaló dos aerogeneradores de 4 kW, para suministro de energía al pueblo de Torán donde residían 40 familias, dicha instalación se realizó en dos etapas.

A nivel nacional realizó medidas anemométricas para determinar el potencial eólico existente en el país (Ministerio de Energía y Minas [MINEM], 2016). En 1996, se instaló un aerogenerador de 0.25 MW en Punta Malabrigo (La Libertad) y dos años después, en 1998, se instaló otro prototipo de 0.45 MW en San Juan de Marcona (Ica). En abril 2014 se instaló el primer parque eólico del Perú de grandes dimensiones (32 MW) ubicado en Marcona (Ica). En agosto y septiembre de ese mismo año se conectaron a la red los parques eólicos de Cupisnique (Pacasmayo, La Libertad) con 80 MW y Talara (Piura) con 30 MW respectivamente. A principios del 2016 se conectó el parque eólico Tres Hermanas (Ica) con 97 MW de potencia instalada. La capacidad nominal de todas las instalaciones eólicas conectadas a la red pública hoy en día es de 239 MW (Ministerio de Energía y Minas [MINEM], 2016).

La presente investigación, estuvo orientada a plantear una alternativa de producción energética, a través del viento como una energía renovable, para ello, fue necesario conocer el potencial eólico para generar información relacionada al tema en mención. Además, esta investigación servirá a entidades públicas o privadas que en el futuro tengan interés por el desarrollo de proyectos relacionados con la generación y aprovechamiento de energías limpias.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Recopilación de datos históricos

Se recopilaron datos de los archivos históricos del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI) de la estación meteorológica ubicada en el Caserío de Arenales Meseta Andina. La data comprende desde el mes de agosto de 1986 hasta el mes de agosto de 1991, periodo en que estuvo funcionando la mencionada estación. Según el Atlas eólico del Perú del año 2016, las zonas con mayor potencial eólico se encuentran en las zonas de costa, así como en ciertas regiones de la sierra, mientras que las zonas de selva tienen un potencial mucho menor que el resto.

Existen algunas zonas en la sierra que pueden resultar de interés desde el punto de vista del recurso eólico disponible. Dado que existe un menor conocimiento de estas áreas (puesto que no se han llevado a cabo campañas de medidas eólicas intensivas) es necesario validar los resultados del Atlas Eólico en estas zonas (MINEM, 2016).

Las horas de toma de las velocidades de viento según los datos históricos del SENAMHI han sido registradas todos los días a las 13:00 horas de cada mes del año.

2.2. Obtención y tratamiento de datos

Dado que la última medición registrada por la estación Arenales data del mes de agosto de 1991, se recolectaron datos actuales. La frecuencia de toma de datos fue cada hora, durante los días 1, 15 y 30 de los meses de abril, mayo y junio del año 2018; registrándose la velocidad y dirección del viento.

La velocidad del viento se tomó con el anemómetro modelo ABH – 4224, a una altura de 10 metros sobre el nivel del suelo, 3 días por mes, las medidas de la velocidad fueron registradas a cada hora del día, las unidades de la velocidad fueron expresadas en metros por segundo (m/s). Además, se tomaron datos de presión atmosférica; los cuales sirvieron para realizar los cálculos necesarios.

Los datos de velocidad del viento registrados a una altura de 10 metros de altura se extrapolaron para determinar la velocidad a 40 y 60 metros de altura tomando el valor de 0.03 para Z_0 , correspondiente a un campo sin construcción y sin árboles, sobre los valores de rugosidad asociados a las distintas superficies del suelo. La fórmula empleada para la extrapolación fue la siguiente:

$$V_z = \frac{V_{ref} \ln\left(\frac{Z}{z_0}\right)}{\ln\left(\frac{z_{ref}}{z_0}\right)} \dots\dots\dots (1)$$

Donde:

V_z : Velocidad del viento a la altura Z ; V_{ref} : Velocidad del viento conocida para la altura de referencia; Z : velocidad del viento a una altura “n”; Z_0 : Longitud de rugosidad, se da en metros, depende del tipo de terreno; Z_{ref} : Altura de referencia, para este caso 10 m (Castro y Cruz, 2015).

Para la estimación de la velocidad del viento a 40 m de altura se utilizó la fórmula siguiente:

$$V_z = \frac{V_{ref} \ln\left(\frac{Z}{z_0}\right)}{\ln\left(\frac{z_{ref}}{z_0}\right)} \dots\dots\dots (2)$$

Donde:

V_z : por calcular; V_{ref} : 8.7; Z : 40 m; Z_0 : 0.03; Z_{ref} : 10 m.

Para estimar la velocidad del viento a 60 metros de altura se usó la siguiente ecuación:

$$V_z = \frac{V_{ref} \ln\left(\frac{Z}{z_0}\right)}{\ln\left(\frac{z_{ref}}{z_0}\right)} \dots\dots\dots (3)$$

Reemplazando datos en la fórmula se obtiene:

V_z : por calcular; V_{ref} : 8.7; Z : 60 m; Z_0 : 0.03; Z_{ref} : 10 m.

Con los resultados, se pudo obtener la potencia eólica disponible (Pd), que es la cantidad de energía que pasa en un tiempo determinado, por un área “A” perpendicular al flujo de viento con velocidad “v” es lo que se conoce como energía cinética, la fórmula es:

$$Pd = 1/2 \cdot \rho \cdot v^2 \cdot v \cdot A = 1/2 \cdot \rho \cdot A \cdot v^3 \dots\dots\dots (4)$$

Para calcular el potencial eólico de una corriente de aire en movimiento, esta es proporcional a la densidad del área perpendicular que enfrenta al rotor con la velocidad elevada al cubo. En el Sistema Internacional (SI), la potencia se expresa en vatios (Mur, 2005).

Se utilizó la distribución de Weibull, la cual es la más usada en estudios sobre energía eólica, cuya fórmula es:

$$P(v) = \left(\frac{k}{C}\right)^{k-1} \cdot \left(\frac{v}{C}\right) \cdot \exp\left(-\frac{v}{C}\right)^k \dots\dots\dots (5)$$

Donde:

$P(v)$: Probabilidad estadística que se presente una determinada velocidad (v); K : Factor adimensional de forma; C : Factor de escala (m/s) el valor es próximo a la velocidad media (Mur, 2005, p. 28).

2.3. Estimación de potencia del viento a diferentes alturas

Para la estimación de la posible producción de energía eléctrica, se ha considerado el aerogenerador de eje vertical marca Bornay 6000 cuyas especificaciones técnicas son las siguientes:

Número de hélices: 3.

Diámetro: 4 m.
 Material Fibra de vidrio/carbono.
 Dirección de rotación Anti-horaria.

Velocidad de viento

Para arranque: 3.5 m/s.
 Para potencia nominal: 12 m/s.
 Para frenado automático: 14 m/s.
 Máxima velocidad del viento: 60 m/s.

Especificaciones eléctricas

Alternador trifásico de imanes permanentes.
 Imanes Neodimio.
 Potencia nominal: 6000 W.
 Voltaje: 48 120 Voltios.
 RPM: 600.
 Regulador 48 Voltios 150 Amperios.
 120 voltios Conexión a red (Bornay, 2011, p. 6).
 El cálculo de potencia disponible (Pd) a 10 metros de altura se calculó, como sigue:

Remplazando en la Ecuación N° 2:

$$Pd = 1/2 \cdot \rho \cdot A \cdot v^3 \dots\dots\dots (6)$$

Donde:
 Pa: Potencia disponible; ρ: Densidad considerando el valor 0.909 kg/m³; A: Área de la circunferencia (Π*r²); r: radio de las palas del aerogenerador, en el presente estudio, el radio del aerogenerador Bornay 6000 es 2 m; v: Velocidad es 8.07m/s.

Reemplazando los datos en la fórmula se determina que la potencia disponible es:
 Pd = 3001.69 W.

La potencia aprovechable, según la ley de Betz, sostiene que es imposible que un aerogenerador pueda aprovechar el 100 % de la energía. “Por tanto, la máxima potencia eólica que puede extraerse es 59.25 % de la energía cinética que

contiene una masa de aire en movimiento” (Mur, 2005, p. 14). Aplicando el principio anterior se determinó la potencia aprovechable a una altura de 10m dando como resultado 3001.69 W. De forma similar, se realizaron los cálculos de energía disponible y aprovechable a alturas de 40 y 60 m, teniendo en cuenta los valores específicos de cada altura.

2.4. Simulación de generación de energía

Para calcular la generación de energía, se utiliza la siguiente fórmula (Luque, 2018)

$$E = N_h \int_{u_m}^{u_M} g(u) \cdot F(u) d(u) \dots\dots\dots (7)$$

Donde:

E: Energía producida por año (MW-h/año); N_h: Número de datos; U_m: Es la menor velocidad de viento necesitada para que comiencen a funcionar las aspas del aerogenerador; u_M: Valor de la velocidad de corte, es la velocidad en la cual los aerogeneradores cesan la producción de energía y se apagan con el fin de evitar daños a la turbina eólica; g(u): Esta dada por el fabricante es la curva de potencia del aerogenerador, representa la potencia generada por las diferentes velocidades de viento; F(u): Función de probabilidad que representa el potencial eólico.

Reemplazando datos en la Ecuación 4, se obtiene la energía producida por el aerogenerador Bornay de la forma siguiente:

E: Energía producida por año; N_h: 72 datos registrados; u_m: Velocidad de arranque del aerogenerador Bornay es 3.5 m/s; u_M: Velocidad de corte o frenado es 14 m/s; g(u): Curva de potencia del aerogenerador es igual 6000 W; F(u): Función de probabilidad que representa el potencial eólico.

El resultado de la energía producida a los 10 m de altura es 8067.28 kW-h/año. Así mismo, se

determinó la energía producida a los 40 m de altura es 19 230.24 kW-h/año, mientras que la estimación de energía para 60 m de altura es 22 667.75 kW-h/año. Se realizó la recopilación y procesamiento de los datos de viento desde 1986 hasta 1991 de la estación del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI) de la estación Convencional – meteorológica que estuvo localizada en el caserío de Arenales Meseta Andina.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Velocidad y dirección del viento

Los resultados históricos de la velocidad del viento se muestran en la Tabla 1. La velocidad del viento tuvo una tendencia similar en todos los años; con mayores velocidades en los meses de junio, julio y agosto, mientras que se presentaron menores velocidades en octubre, noviembre, diciembre, enero y marzo.

Tabla 1. Velocidad del viento (m/s) de los años 1986 al 1991

Mes	Año						Promedio
	1986	1987	1988	1989	1990	1991	
Enero		7.3	5.3	7.15	8.86	7.72	7.266
Febrero		9.3	5.33	5.48	5.3	7.39	6.56
Marzo		8.6	7.25	4.43	7.29	5.6	6.634
Abril		6.5	5.45	6.58	6.08	6.33	6.188
Mayo		9.2	7.18	9.29	10.36	7.43	8.692
Junio		12.3	7.68	7.29	9.87	7.93	9.014
Julio		9.14	11.63	11.23	10.48	9.23	10.342
Agosto	10.39	12	9.48	10.34		14.34	11.31
Setiembre	10.75	7.13	9.23	8.71	8.79	-	8.922
Octubre	8.7	6.97	6	6.42	5.28	-	6.674
Noviembre	7.63	6.18	6.43	8.29	6.81	-	7.068
Diciembre	7	7.04	5.4	7.26	6.74	-	6.688

En la Tabla 2 se presentan los resultados de la velocidad del viento, lo que fueron obtenidos el año 2018 en el caserío de Arenales Meseta Andina de Frías. Cuya media fue de 8.7 m/s.

Tabla 2. Promedio de velocidad del viento del estudio de campo

Mes	Año	Velocidad (m/s)
Abril	2018	8.57
Mayo	2018	8.26
Junio	2018	9.28
Promedio		8.703

Conocer la dirección del viento es de gran importancia, al momento de ubicar los

aerogeneradores dentro de la planta eólica, para saber la variación de la dirección del viento al que debe ser acorde con la orientación del aerogenerador.

La representación de la corriente de distribución direccional del viento es la llamada rosa de vientos, que representa una cantidad porcentual del tiempo de donde procede el viento, de una distribución y dirección de la velocidad en cada intervalo direccional, nuestros resultados de velocidad puede verse en la Figura 1. Esta figura suele dividirse en un número de sectores múltiplo de cuatro (12, 16, 32, etc.), de acuerdo con el MINEM (2016).

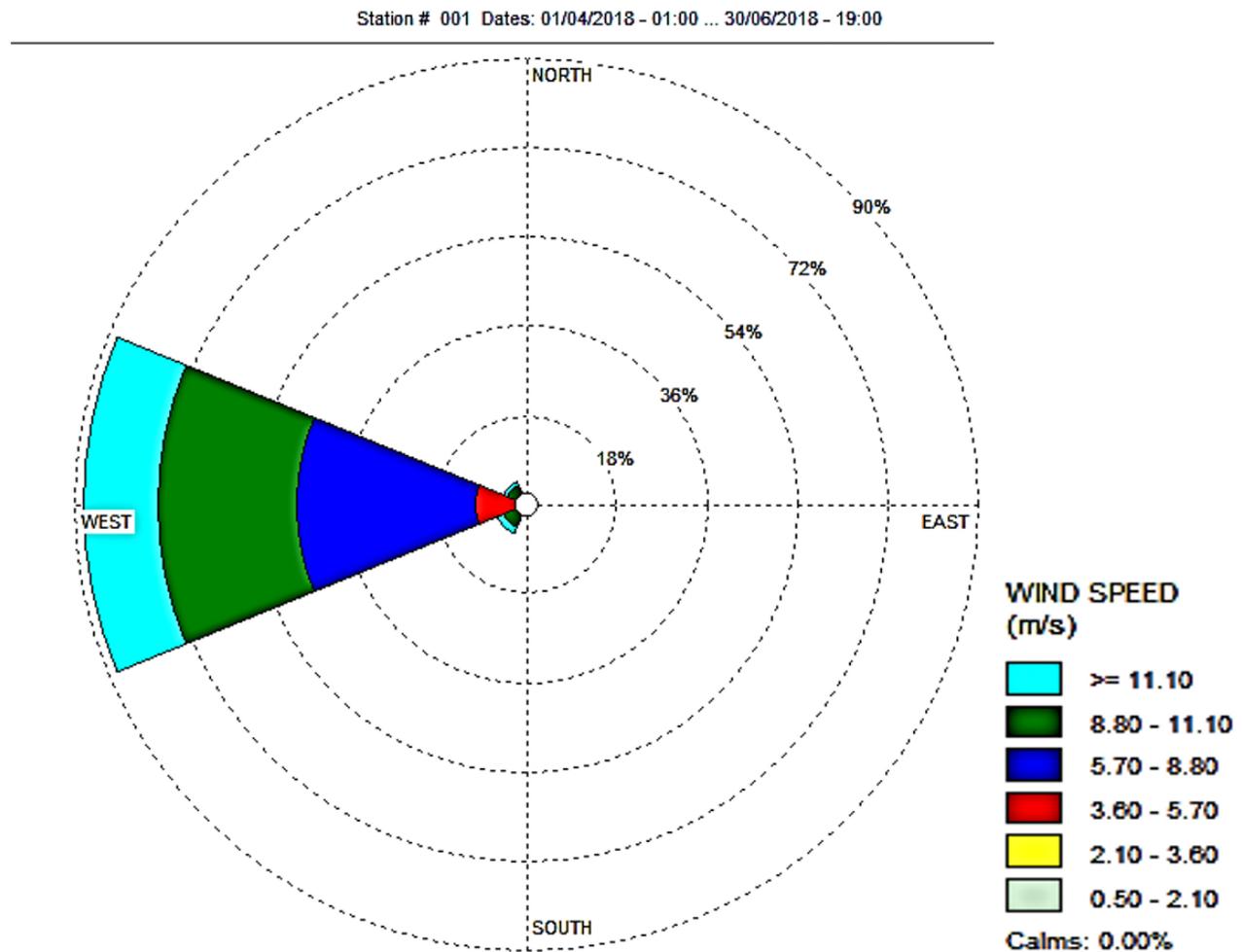


Figura 2. Rosa de viento que señala la dirección del viento, usando el Software WRPLOT VIEW versión 8.0.2.

Se determinó, según los datos históricos recopilados del SENAMHI, la velocidad promedio del viento durante los 6 años fue de 8.05 m/s, con la dirección predominante de Este a Oeste.

Los resultados de campo para el año 2018, mostró velocidad del viento de 8.703 m/s y con

dirección de viento predominante de los puntos cardinales Este a Oeste.

La distribución de las frecuencias del viento puede visualizarse en la Figura 2. Las clases con mayor frecuencia estuvieron de 5.7 – 11.1 m/s.

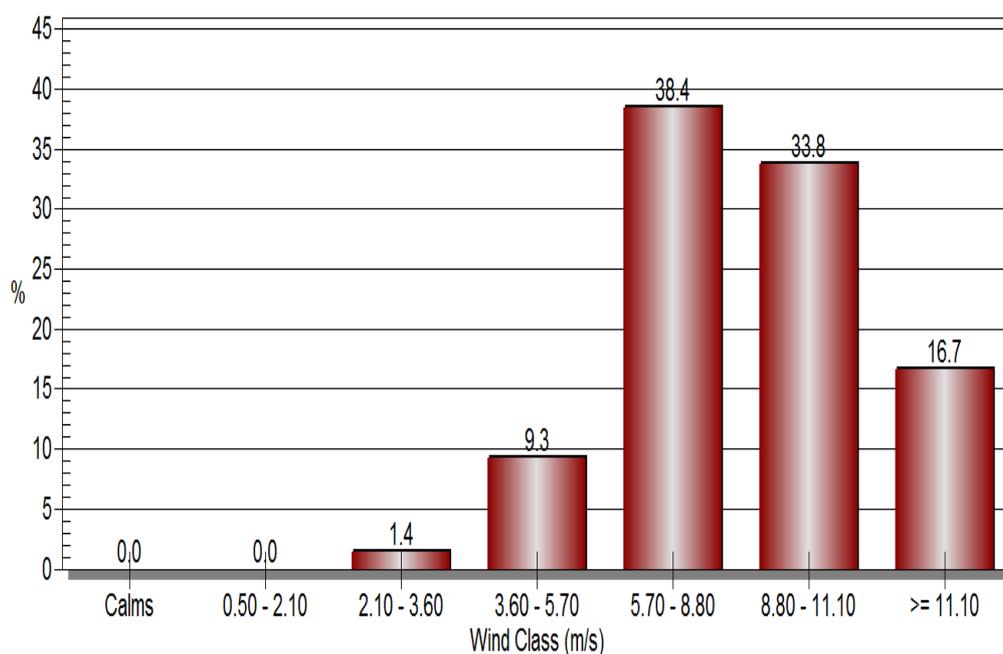


Figura 2. Distribución de frecuencia del viento, usando el Software WRPLOT VIEW versión 8.0.2.

3.2. Presión atmosférica y densidad del aire

En el estudio, para obtener la presión atmosférica y la densidad se obtuvo tomando como densidad 0.909 kg/m^3 , según los datos de la Tabla 3.

3.3. Distribución de Weibull

En estudios sobre energía eólica, la distribución de Weibull, es la más utilizada, aplicada a nuestros resultados puede verse la Figura 3. El modelo tuvo un buen ajuste, con un coeficiente de determinación de 0.9571.

Tabla 3. Altitud, densidad y presión

Altitud (m)	Presión (mbar)	Densidad (kg/m^3)
0	1013.2	1.225
100	1001.3	1.213
200	989.5	1.202
300	977.73	1.190
400	966.11	1.179
500	954.6	1.167
1000	898.7	1.112
2000	794.9	1.007
3000	701.1	0.909
4000	616.4	0.819
5000	540.2	0.736

Nota. La tabla representa la altitud la presión y la densidad del aire. Tomado de Castro y Cruz, (2015).

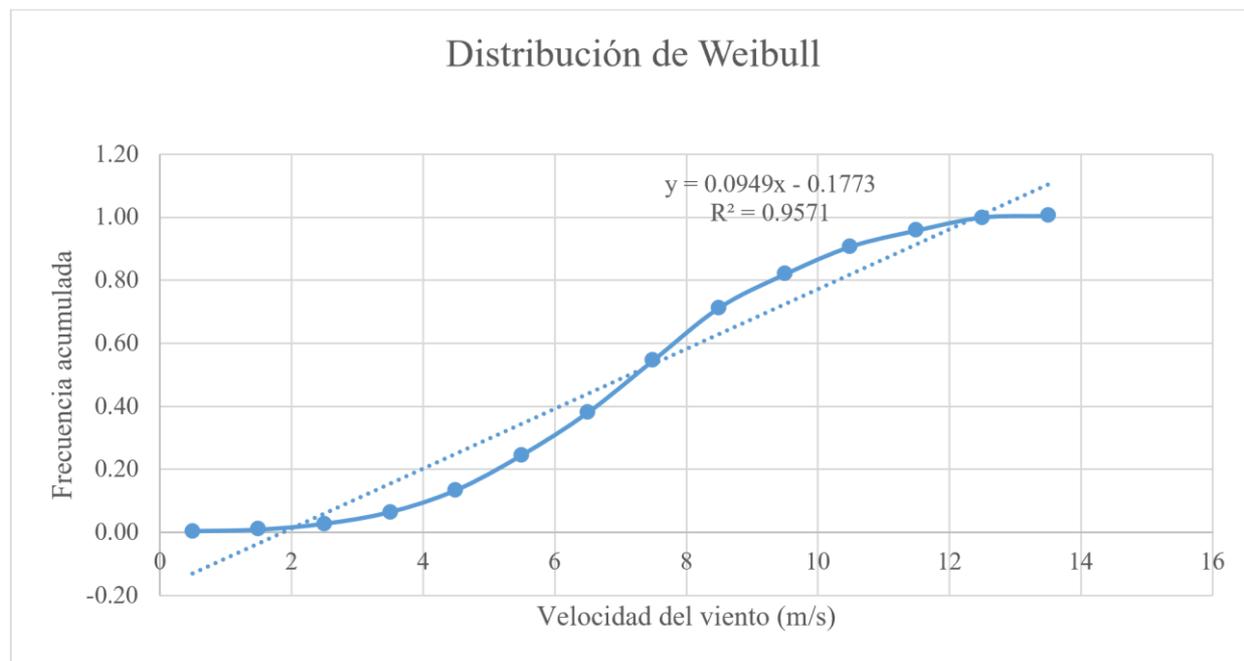


Figura 3. Distribución de Weibull de la velocidad del viento.

De la ecuación se pueden extraer los siguientes datos: $\alpha = -0.773$; $k = 0.949$; $C = e^{\alpha/k}$; $C = 6.48$ m/s

Se calculó la velocidad a los 40 m y 60 m de altura sobre el nivel del suelo través de la extrapolación de la velocidad obtenida a los 10 m, determinándose a 40 m velocidad es 10.78 m/s, mientras que la velocidad a los 60 m es 11.39 m/s (Tabla 4).

A partir de los resultados encontrados en el presente estudio, se puede afirmar que, en el caserío de Arenales Meseta Andina de Frías existe potencial eólico con vientos regulares,

según la Escala de Beaufort, cuyo rango de valores del promedio de velocidad es entre 5.7 y 9.8 m/s para la producción de energía eléctrica a través de aerogeneradores. Estos resultados guardan relación con los estudios realizados por otros autores internacionales como, Avellaneda (2012), Álvares (2013), Arnés (2014) y Encinas *et al.* (2015), asimismo, con los autores nacionales, Castro y Cruz (2015), Luque (2018) y Quiñones *et al.* (2019) quienes realizaron estudios de viento similares para la producción de energía eléctrica a través de aerogeneradores.

Tabla 4. Potencia y energía producida

Altura	Velocidades	Potencia Disponible	Potencia Aprovechable	Energía
(m)	(m/s)	(kW)	(kW)	kW-h/año
10	8.703	3.00169	1.77850	8067.28
40	10.78	7.15522	4.23947	19230.24
60	11.39	8.434.26	4.99730	22667.75

Nota. Cantidad de energía producida a alturas de 10, 40 y 60 metros de altura.

Según los resultados encontrados por Álvarez (2013), quien determinó una velocidad promedio de viento de 6.7 m/s, sostuvo que dicha velocidad tiene un potencial adecuado para proponer proyectos de energía eólica. Haciendo una comparación con el presente estudio, donde la velocidad promedio fue 8.703 m/s, resultado que constituye una alternativa para la producción de energía eléctrica a través del viento en la Meseta Andina distrito de Frías provincia de Ayabaca - Piura.

A partir de los hallazgos de Arnés (2014), quien realizó mediciones a 20 y 40 m sobre el suelo, las velocidades promedio fueron 7.13 m/s y 7.9 m/s respectivamente, comparados con los resultados de la presente investigación a 20 m de altura sobre el suelo la velocidad promedio fue de 10.78 m/s. Los valores encontrados por Arnés (2014) son inferiores, sin embargo, el referido autor concluyó que en Oaxaca hay gran potencial eólico para explotar.

Luque (2018) encontró que la velocidad promedio del viento a una altura de 90 m sobre el nivel del suelo fue de 4.8 m/s, el mencionado resultado, comparado con el presente estudio es inferior en 3.5 m/s, frente al resultado de 7.95 m/s a la altura de 10 m. La dirección predominante del viento en la zona de estudio fue en dirección Oeste, en el estudio se consideró al aerogenerador Enercon E-48 de potencia nominal de 800 kW determinándose que la producción de energía fue 773.82 kW-h/año. Estos resultados de igual manera, son inferiores en cuanto a velocidad del viento, potencial y energía producida teóricamente con el presente estudio, en lo que sí coinciden ambos estudios es que el viento tiene una dirección Oeste.

Los resultados encontrados del promedio de la velocidad del viento y dirección obtenida en la fase de campo en el año 2018 son parecidos a los resultados de la fase de pre campo de los datos históricos del SENAMHI desde el año 1986 hasta 1991.

Al comparar los resultados de las potencias disponible y aprovechable a 10 m, 40 m, y 60 m de altura sobre el nivel del suelo, se puede observar que a los 60 m de altura sobre el nivel del suelo se obtiene mayor velocidad del viento, mayor potencial eólico y mayor producción de energía eléctrica. Los resultados de la energía producida utilizando el aerogenerador de eje horizontal a los 10 m de altura fue 8067.28 kW-h/año. Asimismo, la energía producida a los 40 m de altura fue 19230.24 kW-h/año, mientras que la estimación para los 60 m de altura fue 22667.75 kW-h/año aproximadamente.

El presente estudio afirma, que en la zona, es viable la instalación de un parque eólico para la generación de energía eléctrica, utilizando el potencial del viento, lo que permitirá disponer de energía renovable que no contamina el ambiente, permitiendo una seguridad energética para la zona de la meseta andina de la Región Piura.

4. CONCLUSIONES

Se determinó el potencial eólico aprovechable del viento a diferentes alturas sobre el nivel del suelo en la Meseta Andina del distrito de Frías - Ayabaca - Piura obteniendo los siguientes valores: a 10 m es de 1.77850 kW; a 40 m es 4.33947 kW y 60 m es de 4.99730 kW.

Se calculó la velocidad del viento promedio, según los datos registrados a 10 m de altura

sobre el nivel del suelo en el estudio de campo durante los meses de abril, mayo y junio del año 2018 es de 8.703 m/s. Asimismo se calculó la velocidad mediante extrapolación de velocidad a 40 y 60 m obteniendo velocidades de 10.78 y 11.39 m/s respectivamente.

Se calculó teóricamente la producción de energía eléctrica teniendo como referencia el aerogenerador de eje horizontal marca Bornay 6000. A la altura de 10 m la energía producida es 8067.28 kW-h/año, a los 40 m la energía es 19230.24 kW-h/año y a 60 m es de 22667.75 kW-h/año. Concluyéndose que, en la zona estudiada es posible la producción de energía eléctrica utilizando el potencial eólico de la zona.

Declaración de intereses

Ninguna.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la Universidad Católica Sedes Sapientiae, por facilitar la investigación a través del acceso a los equipos e instrumentos necesarios.

Referencias

- Álvarez, W. F. (2013). *Estudio numérico del potencial energético eólico en Tunja, Colombia*. (Tesis de grado) Universidad Libre. <https://scholar.google.es/scholar?hl=es&q=estudio+num%C3%89rico+del+potencial+energ%C3%89tico+e%C3%93lico+en+tunja%2c+colombia.&btn=&lr=>
- Arnés, C. (2014). *Estudio del potencial eólico para la generación eléctrica en el istmo de Tehuantepec, Oaxaca, México*. (Tesis de maestría). Escuela Técnica de Ingenieros Industriales y telecomunicación. México. <http://academica-e.unavarra.es/handle/2454/11924>
- Avellaneda, J. A. (2012). *Estudio del potencial de generación de energía eólica en la zona del páramo de Chontales, municipios de Paipa y Sotaquirá departamento de Boyacá*.

(Tesis de maestría) Universidad Libre, Bogotá, Colombia.

<http://repository.unilibre.edu.co/handle/10901/9958>

- Bornay (2011). *Manual del usuario de aerogeneradores*. www.proviento.com.pe
- Castro, C. G., y Cruz. F. J. (2015). *Evaluación de la viabilidad del aprovechamiento del potencial eólico para la generación de energía eléctrica en el distrito de Quiruvilca, Santiago de Chuco, La Libertad*. (Tesis de grado). Universidad Nacional de Trujillo http://dspace.unitru.edu.pe/bitstream/handle/UNITRU/3256/CastroMinchola_C%20-%20CruzTacanga_F.pdf?sequence=1.
- Decreto supremo N° 064 – 2010 - EM. Aprobación de la política energética nacional del Perú 2010 - 2040. Diario Oficial El Peruano, Lima, Perú, 23 de noviembre de 2010. pp. 2 - 6.
- Encinas, J., Torrez, R., Ghezzi, F., y Palenque, E. (2015). Características del viento y del potencial eólico del altiplano central. *Revista Boliviana de Física*. http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1562-38232015000200004&lng=es&tlng=es.
- Luque, J. P. (2018). *Evaluación de la viabilidad del aprovechamiento del potencial eólico para la generación de energía eléctrica en el distrito de Chiguata Arequipa*. (Tesis de grado). Universidad Nacional de San Agustín Arequipa. <http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/6362/AMlusajp.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Moreno, P. (2013). *Energía eólica: Ventajas y desventajas de su utilización en Colombia*. Universidad Libre, Bogotá, Colombia. <http://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/10602/Monograf%C3%ADa.pdf?sequence=1>
- Ministerio de Energía y Minas (2016). *Atlas Eólico del Perú*. <http://biblioteca.olade.org/opac-tmpl/Documentos/cg00367.pdf>.
- Mur, J. (2005). *Curso de energía eólica. Master europeo en energías renovables y eficiencia energética*. Departamento de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de Zaragoza. <http://www.windygrid.org/manualEolico.pdf>.
- Quiñones, J., Huanca, E., y Holguino, A. (2019). Caracterización del recurso eólico en la ciudad de Juliaca. *Revista De Investigaciones Altoandinas - Journal Of High Andean Research*, 21(1), 57-68. doi:<http://dx.doi.org/10.18271/ria.2019.445>